

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
وَأَشْرِكُوا بِرَبِّكَ
أَشْرَافَ الْمَلَكِ

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری



دانشگاه ملایر

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مواد (گرایش سرامیک)

اعمال پوشش هیبریدی نانوساختار پایه سرامیکی - ممانعت

کننده بوسیله فرایند سل - ژل و بررسی رفتار خوردگی آن

به وسیله ی :

امیر زینال نژاد

استاد راهنما :

دکتر علی شانقی

نام خانوادگی دانشجو : زینال نژاد	نام : امیر
عنوان پایان نامه : اعمال پوشش هیبریدی نانوساختار پایه سرامیکی - ممانعت کننده بوسیله فرایند سل - ژل و بررسی رفتار خوردگی آن	
استاد راهنما : دکتر علی شانقی	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی مواد
دانشگاه ملایر - گروه: مهندسی مواد	تاریخ فارغ التحصیلی : آذر 1392
تعداد صفحات: 101	
کلید واژه : پوشش نانوساختار، ممانعت کننده، سل - ژل، خوردگی، پوشش خود ترمیم کننده	

چکیده:

امروزه پوشش نانو ساختار اکسید آلومینیوم به دلیل دارا بودن مقاومت به خوردگی و سایش عالی کاربرد وسیعی در صنایع یافته است. روش های مختلفی برای اعمال نانوپوشش ها وجود دارد همانند فرایند CVD، PVD، سل-ژل و در این میان روش سل-ژل به دلیل در بر داشتن مزایایی همانند سهولت کارایی، همگنی و یکنواختی بالای ترکیب شیمیایی از جایگاه ویژه ای در صنعت پوشش دهی برخوردار می باشد. بنابراین در این پایان نامه پوشش آلومینا حاوی مخازن نگهدارنده با غلظت های مختلف ممانعت کننده بنزوتریازول، به مقادیر 1/8، 3/6 و 5/4 درصد، بوسیله روش سل-ژل تحت فرایند غوطه وری بر روی زیر لایه آلومینیومی اعمال شده، سپس خواص فازی، ساختاری و مورفولوژی پوشش به ترتیب بوسیله XRD

، GIXRD، SEM و FESEM ارزیابی گردیده است. خواص خوردگی پوشش نیز در محلول $\text{NaCl } 3/5\%$ بوسیله روش های الکتروشیمیایی همانند پلاریزاسیون تافلی و طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی مطابق استاندارد ASTM G59 ارزیابی شده است. نتایج نشان دهنده همگنی و یکنواختی پوشش بخصوص در غلظت بهینه $3/6$ درصد بنزوتریازول می باشد. همچنین طبق نتایج حاصل از آزمون طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی با افزایش درصد بنزوتریازول از $1/8$ به $3/6$ و $5/4$ درصد، مخصوصا در غلظت بهینه $3/6$ درصد بنزوتریازول مقدار، مقاومت پوشش به دلیل افزایش مقدار عوامل واکنش دهنده آزاد شده در نواقص سطحی، درصد نواقص سطحی و مراکز تبادل الکترون ما بین زیرلایه آلومینیومی و محلول الکترولیت به طور قابل توجهی افزایش یافته است.

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
فصل اول : مقدمه	1
فصل دوم : مروری بر منابع	7
1-2- مروری بر انواع سیستم های خود ترمیم کننده و مکانیزم های آنها	8
1-1-2- سیستم های خود ترمیم کننده بر اساس رها کردن عامل ترمیم کننده	8
1-1-1-2- قرار دادن میکروکپسول ها	9
2-1-1-2- قرار دادن الیاف توخالی	11
2-1-2- سیستم های خود ترمیم کننده بر اساس اتصالات عرضی برگشت پذیر	13
1-2-1-2- واکنش های دیلز - آلدز و واکنش های معکوس دیلز - آلدز	15
2-2-1-2- یونومرها	16
3-2-1-2- پلیمر های چند مولکولی	17
3-1-2- سیستم های خود ترمیم کننده بر اساس فنآوری های متفرقه	19
1-3-1-2- فنآوری الکترو هیدرودینامیک	20
2-3-1-2- فنآوری رسانایی	21
3-3-1-2- فنآوری اثر حافظه داری	23
4-3-1-2- فنآوری مهاجرت نانو ذرات	23
5-3-1-2- فنآوری هم رسوبی	24
2-2- انواع روش های اعمال پوشش های خود ترمیم کننده پایه سرامیکی و مقایسه انواع پوشش های پایه سرامیکی	26
1-2-2- تولید پوشش های خود ترمیم کننده با استفاده از فرآیند سل - ژل	26
1-1-2-2- انواع ژل ها	28
2-1-2-2- انواع مسیرهای فرآیند سل - ژل	29
3-1-2-2- مراحل فرآیند سل - ژل در مسیر الکوکسیدی	31
4-1-2-2- مزایای فرآیند سل - ژل	32

- 33..... 5-1-2-2- معایب فرآیند سل - ژل
- 33..... 6-1-2-2- چند نکته در مورد فرآیند سل - ژل
- 35..... 2-2-2- تولید پوشش های خود ترمیم کننده با استفاده از فرآیند آندایزینگ
- 36..... 3-2-2- تولید پوشش های خود ترمیم کننده با استفاده از فرآیند آبکاری
- 36..... 4-2-2- مقایسه انواع پوشش های سرامیکی و بیان ویژگی های آلومینا
- 39..... 3-2-3- کاربرد پوشش های خود ترمیم کننده
- 41..... 1-3-2- کاربرد پوشش های خود ترمیم کننده در صنایع نظامی
- 42..... 2-3-2- کاربرد پوشش های خود ترمیم کننده در صنایع غیر نظامی
- 43..... 1-2-3-2- صنایع دریایی
- 44..... 2-2-3-2- صنایع نفت و گاز
- 44..... 3-2-3-2- حوزه انرژی
- 44..... 4-2-3-2- صنعت هوافضا
- 45..... 5-2-3-2- صنعت خودرو
- 46..... 6-2-3-2- صنعت الکترونیک
- 46..... 7-2-3-2- صنعت چوب
- 46..... 3-3-2- جاهائی که ممکن است پوشش های خود ترمیم کننده خیلی ضرورت داشته باشند.
- 47..... 4-2-4- روش های ارزیابی خواص خود ترمیم کنندگی پوشش
- 47..... 1-4-2- روش پلاریزاسیون الکتروشیمیایی
- 48..... 2-4-2- روش طیفسنجی امپدانس الکتروشیمیایی
- 54..... فصل سوم : روش انجام آزمایش
- 55..... 1-3-1- تهیه محلول های پوشش دهی
- 55..... 1-1-3- مواد اولیه
- 55..... 2-1-3- روش تهیه محلول ها
- 59..... 2-3-2- اعمال پوشش
- 59..... 1-2-3- نحوه پوشش دادن
- 59..... 2-2-3- مراحل پوشش کاری و سیکل عملیات حرارتی

62.....	3-3-3- روش های ارزیابی پوشش ها
63.....	3-3-3-1- آنالیز XRD
63.....	3-3-3-2- آنالیز SEM
64.....	3-3-3-3- آزمون های خوردگی
66.....	فصل چهارم : نتایج و بحث
68.....	4-1- سنتز پوشش نانو ذرات آلومینا
73.....	4-2- بررسی خواص فازی و ساختاری پوشش خود ترمیم کننده پایه آلومینایی
86.....	4-3- بررسی رفتار خوردگی و خود ترمیم کنندگی پوشش
88.....	4-3-3-1- نتایج آنالیز طیف نگاری امپدانس الکتروشیمیایی و تحلیل آنها
	4-3-3-2- بررسی مکانیزم خود ترمیم کنندگی پوشش خود ترمیم کننده بوسیله مدار معادل (بدست آمده از
89.....	منحنی های امپدانس)
92.....	4-3-3-3- نتایج آنالیز پلاریزاسیون تافلی و تحلیل آنها
96.....	فصل پنجم : نتیجه گیری
99.....	فهرست منابع و مآخذ

فهرست اشکال

- شکل 2-1. شماتیکی از نمایش مفهوم خود ترمیم کنندگی با استفاده از میکروکپسول های قرار داده شده10
- شکل 2-2. شماتیکی از نمایش مفهوم خود ترمیم کنندگی با استفاده از الیاف توخالی قرار داده شده12
- شکل 2-3. تصویر SEM الیاف شیشه ای توخالی نمونه وار با قطر خارجی 35 میکرو متر و 55% میزان توخالی بودن12
- شکل 2-4. شماتیکی از سیستم میکرو کانالی14
- شکل 2-5. شماتیکی از برهمکنش های یونی برگشت پذیر17
- شکل 2-6. مثال هایی از پلیمر های چند مولکولی: (A) پلیمر های چند مولکولی زنجیره اصلی (B) پلیمر های چند مولکولی زنجیره کناری19
- شکل 2-7. شماتیکی از نمایش تجمع الکترو هیدرودینامیک ذرات21
- شکل 2-8. شماتیکی از نمایش خود ترمیم کنندگی مواد رسانا22
- شکل 2-9. نمایش پروفایل های سه بعدی تورفتگی کروی تحت نیروی 15 نیوتن: (A) تورفتگی جدید (B) بعد از حرارت دهی تا بالای دمای اتمام آستنیت24
- شکل 2-10. شماتیکی از نمایش هم رسوبی میکروکپسول ها (یا نانوذرات نیمه متخلخل حاوی بازدارنده های خوردگی) با یون های فلزی26
- شکل 2-11. شماتیکی از نمایش اثر جریان مجدد پوشش های خود ترمیم کننده شرکت متریال ساینس بایر 41
- شکل 2-12. نمونه ای از نمودارهای پلاریزاسیون48
- شکل 2-13. نمونه ای از نمودار های پلاریزاسیون: (A) پوشش بدون اعمال میکروکپسول (B) پوشش حاوی میکروکپسول49
- شکل 2-14. نمونه هایی از طیف های روش طیفسنجی امپدانس الکتروشیمیایی50
- شکل 2-15. نمونه ای دیگر از طیف های روش طیفسنجی امپدانس الکتروشیمیایی51

- شکل 2-16. طیف امپدانس در طی غوطه وری در محلول 0/5 مولار NaCl : (A) پوشش سل - ژل تک لایه دوپ نشده و (B) پوشش سل - ژل دو لایه حاوی بازدارنده قبل و بعد از تشکیل عیب 52
- شکل 3-1. فلوجارت مراحل تهیه محلول 1 57
- شکل 3-2. فلوجارت مراحل تهیه محلول 2 58
- شکل 3-3. فلوجارت مراحل تهیه محلول 4 60
- شکل 3-4. سیکل عملیات حرارتی مورد استفاده در مرحله اول پوشش دهی 61
- شکل 3-5. سیکل عملیات حرارتی مورد استفاده در مرحله دوم پوشش دهی 61
- شکل 3-6. سیکل عملیات حرارتی مورد استفاده در مرحله پنجم پوشش دهی 62
- شکل 3-7. شماتیکی از دستگاه تست پلاریزاسیون 65
- شکل 3-8. شماتیکی از سیستم اندازه گیری امپدانس الکتروشیمیایی 65
- شکل 4-1. الگوی پراش پودر های سنتز شده در دمای 120، 150، 180 و 500 °C 69
- شکل 4-2. الگوی پراش پودر سنتز شده در دمای 900°C 70
- شکل 4-3. تصاویر FESEM مربوط به پودر آلومینای تهیه شده در دمای 120°C در بزرگنمایی الف) 30000 و ب) 60000 برابر 71
- شکل 4-4. تصاویر FESEM مربوط به پودر آلومینای تهیه شده در دمای 500°C در بزرگنمایی الف و ب) 60000، ج، د و ه) 100000 و و) 150000 برابر 72
- شکل 4-5. تصاویر SEM مربوط به پوشش های عملیات حرارتی شده در دمای 120°C با درصد های مختلف بنزوتریازول الف) بدون عامل ترمیم کننده، ب) 1/8%، ج) 3/6% و د) 5/4% 74
- شکل 4-6. تصاویر FESEM پوشش های عملیات حرارتی شده در دمای 120 درجه سانتیگراد با درصد های مختلف بنزوتریازول، الف) بدون عامل ترمیم کننده، ب) 1/8%، ج) 3/6% و د) 5/4% 75
- شکل 4-7. الف و ب) تصاویر FESEM مربوط به عدم ترمیم شدن ترک ها در پوشش بدون عامل ترمیم کننده 75
- شکل 4-8. منحنی XRD پوشش بدون عامل ترمیم کننده 76

- شکل 4-9. الف و ب) تصاویر SEM، ج و د) تصاویر FESEM مربوط به ترمیم جزئی ترک ها در پوشش حاوی 1/8% بنزوتريازول 77
- شکل 4-10. منحنی GIXRD پوشش خود ترميم کننده پایه آلومينيومی حاوی 1/8% بنزوتريازول 78
- شکل 4-11. منحنی XRD پوشش خود ترميم کننده پایه آلومينيومی حاوی 1/8% بنزوتريازول 78
- شکل 4-12. الف و ب) تصاویر SEM، ج، د و ه) تصاویر FESEM مربوط به ترميم ترک ها در پوشش حاوی 3/6 درصد بنزوتريازول 80
- شکل 4-13. منحنی GIXRD پوشش خود ترميم کننده پایه آلومينيومی حاوی 3/6 درصد بنزوتريازول 81
- شکل 4-14. منحنی XRD پوشش خود ترميم کننده پایه آلومينيومی حاوی 3/6 درصد بنزوتريازول 81
- شکل 4-15. الف، ب، ج و د) تصاویر SEM، ه) و و) تصاویر FESEM مربوط به ترميم ترک ها در پوشش حاوی 5/4 درصد بنزوتريازول 83
- شکل 4-16. منحنی GIXRD پوشش خود ترميم کننده پایه آلومينيومی حاوی 5/4 درصد بنزوتريازول 84
- شکل 4-17. منحنی XRD پوشش خود ترميم کننده پایه آلومينيومی حاوی 5/4 درصد بنزوتريازول 84
- شکل 4-18. تصاویر SEM مربوط به پوشش های با درصد 3/6% بنزوتريازول تحت عمليات حرارتی شده در سه دمای مختلف الف) 120°C، ب) 150°C و ج) 180°C 85
- شکل 4-19. منحنی GIXRD پوشش خود ترميم کننده پایه آلومينيومی حاوی 3/6 درصد بنزوتريازول عمليات حرارتی شده در دمای 150°C 87
- شکل 4-20. منحنی GIXRD پوشش خود ترميم کننده پایه آلومينيومی حاوی 3/6 درصد بنزوتريازول عمليات حرارتی شده در دمای 180°C 87
- شکل 4-21. منحنی امپدانس در زمانهای مختلف 1، 72 و 96 ساعت غوطه وری در محلول 3/5 درصد NaCl، برای زیر لایه آلومينيومی بدون پوشش و دارای پوشش خود ترميم کننده پایه آلومينيومی حاوی درصدهای مختلف بنزوتريازول اعمال شده الف) 1/8، ب) 3/6 و ج) 5/4 90
- شکل 4-22. مدار معادل پوشش خود ترميم کننده در زمانهای مختلف غوطه وری در محلول 3/5 درصد NaCl 91

شکل 4-23. منحنی پلاریزاسیون زیر لایه آلومینیومی، الف) بدون پوشش و ب) دارای پوشش خود ترمیم کننده پایه آلومینیومی حاوی درصد های مختلف بنزوتریازول اعمال شده $1/8$ ، $3/6$ و $5/4$ درصد در محلول $3/5$ درصد NACL 93.

فصل اول

مقدمه

مواد خود ترمیم کننده بیشتر از یک وهم و خیال نیست و ما از روزهایی که مواد ساخته شده به دست بشر می تواند هنگام شکست ساختار خود را باز یابد دور نیستیم. برای مثال ترک های موجود در سازه ها می توانند بر روی خودشان بسته شوند یا خراش های روی بدنه خودرو ها می توانند خود به خود ترمیم شوند. هر کسی پدیده خود ترمیم کنندگی را در ترمیم شدن طبیعی زخم ها دیده است. همه مواد با گذشت زمان در معرض از بین رفتن طبیعی یا مصنوعی هستند. در حقیقت با گذشت زمان میکرو ترک هایی در مواد تشکیل می شود که منجر به شکست می شود. بنابراین برای اینکه قابلیت اطمینان و عمر مواد را بالا ببریم تعمیر کردن آنها ضروری می باشد. گرچه دانشمندان با فرآیندهای طبیعی لخته شدن خون یا ترمیم استخوان های شکسته شده آشنا هستند، اما تعمیر این فرآیند ها به مواد مهندسی به علت طبیعت پیچیده فرآیندهای ترمیم در بدن انسان ها و حیوانات دور از واقعیت می باشد [1].

مواد خود ترمیم کننده موادی با قابلیت ترمیم در مقابل خراش و خمش می باشند که امروزه توجه زیادی را در علم مواد به خصوص در مواد پلیمری به خود جلب کرده اند. با استفاده از این مواد هواپیماها می توانند ایمنی سفر خود را حتی در صورت آسیب دیدن حفظ کنند، پل ها می توانند در حین زلزله و بعد از زلزله پایدار بمانند، کشتی ها می توانند با وجود صدمه دیدن در دریا های بزرگ شناور بمانند، تجهیزات نفتی و خط لوله ها می توانند در برابر آسیب های طبیعی مقاومت کنند. به علت نیاز به ارتقاء پایداری، ایمنی و زیبایی محصولات، بازارهای آینده بیشتر نیازمند این مواد خواهد بود. برای اولین بار در سال 1980 میلادی مفهوم مواد خود ترمیم

کننده پلیمری پیشنهاد شد. در سال 1993 میلادی مقالاتی با این موضوع بوسیله درای¹ و سوتوس² منتشر شد و پس از آن در سال 2001 میلادی پروفیسور وایت³ توجه دنیا را به این مواد جلب کرد [2]. در حقیقت این نخستین تجربه عملی درمورد تولید مواد خود ترمیم کننده بود که بوسیله ایشان انجام شد. به طوری که خاصیت ترمیم کردن با قرار دادن عوامل ترمیم کننده کپسوله شده در زمینه پلیمری حاوی کاتالیزگر های پراکنده شده به دست آمد [1]. میکروترک ها و آسیب های پنهان شده به عنوان عوامل آغازگر برای شکست سازه ها می- باشند. از سویی دیگر، هزینه های بالای تعمیر و نگهداری سازه ها امکان استفاده از مواد مختلف در ساخت تجهیزات را محدود کرده است. همچنین تعمیر محل های دور افتاده و غیر قابل دسترس خیلی مشکل می باشد. لذا در این زمینه پوشش های خود ترمیم کننده دارای پتانسیل بالا در افزایش طول عمر سازه ها می باشند. لذا تعداد زیادی از سازمان های تحقیقاتی دانشگاهی و صنعتی در تلاش هستند تا مفاهیم جدیدی را در این حوزه نوید بخش کشف کنند. با اینکه این حوزه جدید تحقیق و تولید خیلی نویدبخش می باشد، مقداری محدودیت- های کاربردی در فهم سینتیک ترمیم کردن ترک و پایداری عامل ترمیم کننده وجود دارد. هدف از ساخت پوشش های خود ترمیم کننده، ایجاد حفاظت فعال در سیستم پوششی است. به این صورت که نه تنها سطح مورد نظر، خواص حفاظتی پوشش های غیر فعال را دارد، بلکه ویژگی خود ترمیم کنندگی را نیز دارا بوده و حفاظت از فلز پایه بعد از تخریبات جزیی در پوشش همچنان ادامه می یابد [1]. سالانه مبالغ هنگفتی از طرف دولت ها صرف ترمیم و بازسازی خسارات ناشی از خوردگی می شود. آسیب های ناشی از خوردگی که در زندگی روزمره مان اتفاق می افتد خیلی اوقات فقط پی آمد اقتصادی ندارد، بلکه گاهی وضعیتی را ایجاد می کند که زندگی بشر را تهدید می کند. بنابراین یافتن روشی مناسب برای حفاظت از

¹ Dry
² Sottos
³ White

سطوح فلزی در مقابل خوردگی امری ضروری به نظر می رسد. تاکنون پوشش های ضد- خوردگی متعددی شناخته شده که مکانیزم حفاظتی این پوشش ها تا زمانی کارایی دارد که دچار آسیب نشده باشند. اغلب این پوشش ها به محض ایجاد کوچکترین نقصی، دیگر قادر به حفاظت از سطح زیرین نیستند. سازه های مهندسی که می توانند به طور قابل ملاحظه به وسیله پدیده خوردگی آسیب ببینند و سرانجام تخریب شوند، شامل پل ها، خطوط لوله، مخازن نگهداری، خودروها، هواپیماها و کشتی ها می باشند [1]. در یکی، دو دهه اخیر پوشش های خود ترمیم کننده مطرح شده که این پوشش ها وقتی دچار آسیب یا عیب می - شوند، شروع به ترمیم آن آسیب یا عیب کرده و لذا پدیده خوردگی را به تعویق انداخته و عمر سازه - ها را بالا می برند. برخی از پوشش ها همانند پوشش های کروماته به دلیل مقاومت به خوردگی بالای ناشی از ایجاد لایه اکسید و یا هیدروکسید ایجاد شده بر روی سطح فلز دارای قابلیت خود ترمیم کنندگی ترکهای بسیار ریز، حفره ها و ... می باشند، اما امروزه استفاده از پوشش های کروماته و ترکیبات آن به دلیل سرطان زا و مضر بودن این ترکیبات، محدود شده و در حال جایگزین کردن آنها با مواد جدید همانند پوشش های هیبریدی، پلیمری و سرامیکی با قابلیت خود ترمیم کنندگی می باشد. در میان پوشش های دارای قابلیت خود ترمیم کنندگی، پوشش های هیبریدی طراحی شده پایه سرامیکی نانو ساختار علاوه بر مقاومت سایشی و خواص مکانیکی خوب، قابلیت ترمیم نواقص سطحی در حال شروع و یا ترک های بسیار ریز را در حین کار به صورت خود کار دارا هستند، همچنین در میان پوشش های پایه سرامیکی پوشش نانو ساختار آلومینا دارای کاربرد بسیار وسیعی می باشد، مخصوصاً بعنوان پوشش های مقاوم در برابر خوردگی [2]. روش های مختلفی برای تولید پوشش نانو ساختار آلومینا وجود دارد، همانند اسپاترینگ¹، CVD² [3]، لیزر پالسی³ [4] و روش سل-ژل⁴ [5-9]. در این میان

¹ Spattering

² Chemical Vapor Deposition

³ Pulsed laser deposition

⁴ Sol-Gel

روش سل-ژل به دلیل کنترل ترکیب شیمیایی در سطح مولکولی و دمای اعمالی پایین نسبت به روش های دیگر برتری داشته، علاوه بر آن میکروساختار فیلم مذبور همانند اندازه حفره ها و حجم آنها بوسیله تغییر پارامتر های سل-ژل قابل کنترل می باشد [10]. مهمترین نکته در حفاظت فلزات در برابر محیط های خورنده واکنش های فصل مشترک می باشد :

1- واکنش های انجام شده در فصل مشترک بین فلز و پوشش.

2- واکنش های انجام شده در فصل مشترک بین پوشش و محیط.

بنابراین کنترل واکنش بین این فصل مشترک ها هنگامی که در حد مولکولی انجام پذیرد تأثیر بالایی در حفاظت از خوردگی ایجاد شده توسط پوشش اعمالی دارد. روشهای مختلفی برای تولید پوشش های خود ترمیم کننده وجود دارد که همه آنها در مرجع [1] ذکر شده، یکی از این روشها کپسوله کردن عامل ترمیم کننده برای جلوگیری از واکنش بین زمینه با عامل ترمیم کننده می باشد. انواع روش های کپسوله کردن وجود دارد که یکی از آنها، استفاده از عامل اپوکسی پروپوکسی پروپیل تری متوکسی سیلان¹ برای کپسوله کردن عامل ترمیم کننده به روش سل-ژل می باشد.

بنابراین در این تحقیق، فصل دوم، مروری بر انواع پوششهای خود ترمیم کننده است و در فصل سوم، پوشش نانو ساختار آلومینا حاوی درصد های مختلف 1/8، 3/6 و 5/4 ممانعت کننده آلی بنزوتریازول، به منظور بهبود خواص خوردگی بر روی زیرلایه آلومینیومی اعمال شده و سپس در فصل چهارم خواص فازی، ساختاری و مورفولوژی پوشش به ترتیب بوسیله XRD²، GIXRD³، SEM⁴ و FESEM⁵ ارزیابی گردیده و خواص خوردگی پوشش نیز در

¹ [3-(2,3-Epoxypropoxy)-propyl]-trimethoxysilane(C₉H₂₀O₅Si)

² X-ray Diffraction

³ Grazing Incidence X-ray Diffraction

⁴ Scanning Electron Microscopy

⁵ Field Emission Scanning Electron Microscopy

محلول NaCl %3/5 بوسیله روش های الکتروشیمیایی همانند پلاریزاسیون تافلی¹ و طیف-
سنجی امپدانس الکتروشیمیایی² مطابق استاندارد ASTM G59 ارزیابی شده است.

¹ Tafle polarization

² Electrochemical Impedance Spectroscopy

فصل دوم

مروری بر منابع

2-1-1- مروری بر انواع سیستم های خود ترمیم کننده و مکانیزم های آنها

2-1-1-1- سیستم های خود ترمیم کننده بر اساس رها کردن عامل ترمیم کننده

عوامل فعال مایع نظیر مونومرها¹، رنگینه ها²، کاتالیزورها³ و سختگر های⁴ اعمال شده در میکروکپسول ها، الیاف یا کانالهای توخالی بوسیله تولید درجا در سیستم های پلیمری قرار داده می شوند. وقتی که ترکی در روی سطح بوجود آمد، این مخازن گسیخته می شوند و عوامل واکنشی داخل مخازن بوسیله نیروی موئین به داخل ترکها وارد شده و در حضور کاتالیزگرهای قبلاً پراکنده شده در سیستم پوششی، پلیمریزه شده و ترک ترمیم می شود. نیروی محرکه اصلی در این فرآیند انتشار ترک می باشد. از طرف دیگر انتشار ترک به تنش ناشی از ترک نیاز دارد تا ترک بتواند براحتی برش یابد که این مسئله یک اشکال عمده در این فرآیند محسوب می شود. پوشش های خود ترمیم کننده تولید شده بر این اساس باید بتوانند در صورت بروز تغییرات در یکپارچگی پوشش، مواد فعال و ترمیم کننده را به سرعت از خود آزاد کنند. مواد فعال را می توان در اجزای مختلفی از پوشش شامل آستر⁵، لایه اولیه یا پیش عملیات⁶ و یا لایه رویی⁷ قرار داد [1].

¹ Monomers

² Dyes

³ Catalysts

⁴ Hardeners

⁵ Primer

⁶ Pretreatment

⁷ Top coat

2-1-1-1-1- قرار دادن میکروکپسول ها¹

میکروکپسوله کردن فرآیندی است که در آن ذرات جامد، ریز قطره های مایع یا گاز را در میان پوسته های ختنی قرار می دهند تا آنها را ایزوله کرده و از محیط های خارجی جدا کنند. محصول نهایی فرآیند میکروکپسوله کردن، میکروکپسول نام دارد که از دو قسمت تشکیل شده است: هسته و پوسته. میکرو کپسول ها ممکن است به صورت اشکال کروی یا نامنظم باشند و اندازه آنها از محدوده میکرو تا نانو قابل تغییر می باشد. طبق مقالات پیشین، برای اینکه خاصیت خود ترمیم کنندگی بدست آید از عوامل ترمیم کننده میکروکپسوله شده در زمینه پلی استر استفاده شده که در آنجا در تولید کردن مواد خود ترمیم کننده ای که بتوانند در عمل استفاده شوند موفق نبودند. نخستین تجربه عملی تولید مواد خود ترمیم کننده با مکانیزم قرار دادن میکروکپسول ها در سال 2001 میلادی توسط پروفیسور اسکات وایت² و همکارانش به دست آمد. خاصیت خود ترمیم کنندگی با قرار دادن عوامل ترمیم کننده کپسوله شده در زمینه پلیمری حاوی کاتالیزگر های پراکنده شده به دست آمد [1]. پیشرفت های اخیر در زمینه دانش و مهندسی سطح راه های جدیدی را برای ساخت سطوح فعال متشکل از یک ساختار میزبان (غیر فعال) و یک ساختار مهمان (فعال) ایجاد کرده است. این کار می تواند یا از طریق وارد کردن جزء فعال در یک ساختار کامپوزیت لایه ای صورت بگیرد به طوری که لایه های جزء غیر فعال اجزای فعال (مثل بازدارنده ها³) را مستقیماً در بر بگیرند یا می توان از مخازن (کپسول ها) در مقیاس میکرون یا نانو استفاده کرد که در ساختار پوشش های کلاسیک⁴ وارد می شوند و بصورت حامل هایی هستند که اجزای فعال را در درون خود دارند. کپسول های مذکور باید به طور یکنواختی در زمینه پوشش توزیع شده و ماده فعال را در خود نگه دارند تا از انجام واکنش های نا خواسته بین زمینه و مواد فعال جلوگیری شود (شکل 2-1).

¹ Microcapsule Embedment

² Scot White

³ Inhibitors

⁴ Classic